Número 65
Febrero 1982

INVESTIGACION Y
CIENCIA
Edición en español de SCIENTIFIC AMERICAN

SCIENTIFIC AMERICAN

COMITE DE REDACCION: Gerard Piel (Presidente), Dennis Flanagan, Brian P. Hayes, Philip Morrison, Francis Bello, Peter G. Brown, Michael Feirtag, Paul W. Hoffman, Jonathan B. Piel, John Purcell, James T. Rogers, Armand Schwab, Jr., Joseph Wisnovsky

DIRECCION EDITORIAL: Dennis Flanagan
DIRECCION ARTISTICA: Samuel L. Howard
PRODUCCION: Richard Sasso
DIRECTOR GENERAL: George S. Conn

INVESTIGACION Y CIENCIA

DIRECTOR: Francisco Gracia Guillén
REDACCION: José María Valderas Gallardo (Redactor Jefe)
Carlos Oppenheimer
José María Farré Josa
PRODUCCION: César Redondo Zayas
VENTAS Y PUBLICIDAD: Elena Sánchez-Fabrés
PROMOCION EXTERIOR: Pedro Clotas Cierco
EDITA: Prensa Científica, S. A.
Calabria, 235-239
Barcelona-29 (ESPAÑA)

Colaboradores de este número:

Asesoramiento y traducción:

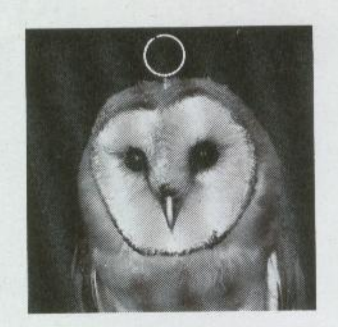
Guillermo Jenaro Garrido: *Armas láser*; Julio Rodríguez Villanueva: *Navegación magnética en las bacterias*; Manuel Puigcerver: *Júpiter y Saturno*; Joandomènec Ros: *El oído de la lechuza*; Cristóbal Mezquita: *Fibrinógeno y fibrina*; Luis Bou: *Algebra por ordenador*; J. M. García de la Mora: *El principio antrópico*; Luis Bou: *Juegos matemáticos*; J. Vilardell: *Taller y laboratorio*.

Ciencia y sociedad:

José Campos Gutiérrez

Libros:

Ramón Margalef, Luis Alonso, Agustín Albarracín y F. García de Valdecasas



LA PORTADA

La fotografía de la portada muestra la cara de la lechuza común, *Tyto alba*. El anillo que sobresale de su cabeza es una bobina electromagnética que forma parte del montaje experimental empleado para determinar la precisión con que el ave localiza el sonido y las señales que selecciona de entre las que se hallan presentes en los sonidos naturales. El ave se posa de manera que la bobina cefálica interseque campos magnéticos horizontales y verticales; los cambios en la corriente de la bobina indican movimientos de la cabeza cuando la lechuza localiza un altavoz móvil. Estos ensayos han demostrado que su capacidad para localizar el origen de un sonido es mejor que la de cualquier otra especie de la que se tengan datos. Tal precisión es imprescindible para la caza aérea de ratones de campo durante la noche. La cara de la lechuza es parte fundamental de su sistema auditivo. Los órganos externos son dos conductos que corren a través de las plumas faciales. Asimétricos en el sentido vertical, los oídos informan, a la vez, sobre el ángulo vertical y el ángulo horizontal de una fuente sonora.

Suscripciones:
Prensa Científica, S. A.
Calabria, 235-239
Barcelona-29 (España)
Teléfono 322 05 51 ext. 37

Condiciones de suscripción:
España:
Un año (12 números): 3.300 pesetas
Extranjero:
Un año (12 números): 52 U.S. $
Ejemplar atrasado ordinario:
340 pesetas
Ejemplar atrasado extraordinario:
440 pesetas

Distribución para España
Distribuciones de Enlace, S. A.
Ausias March, 49, Barcelona-10

Distribución para los restantes países:
Editorial Labor, S. A.
Calabria, 235-239 - Barcelona-29

Publicidad:
Madrid:
Gustavo Martínez Ovin
Avda. de Moratalaz, 137, Madrid-30
Tel. 430 84 81
Cataluña:
Lourdes Padrós
Manuel Girona, 61, 2.°, Barcelona-34
Teléfono 204 45 83

Controlado
por O.J.D.



PROCEDENCIA DE LAS ILUSTRACIONES

Fotografía de la portada de Jon Brenneis

Página	Fuente
9-15	Ian Worpole
17	Richard P. Blakemore y Nancy Blakemore
18	Alan D. Iselin
19	Richard P. Blakemore
20	Denise Maratea y Nancy Blakemore (*arriba*), Richard P. Blakemore (*abajo, izquierda*), Richard P. Blakemore y Wendy O'Brien (*abajo, derecha*)
21	David L. Balkwill y Denise Maratea (*arriba*); Richard P. Blakemore y M. Ingerfeld, Universidad de Canterbury (*abajo*)
22-24	Alan D. Iselin
27	José Olivares
30-34	Eulogio J. Bedmar, José Olivares y Miguel Alonso
37-40	José Campos y M. Alonso
43	Jet Propulsion Laboratory, Instituto de Tecnología de California
44-46	Walken Graphics
47	Jet Propulsion Laboratory, Instituto de Tecnología de California y Walken Graphics
48-50	Jet Propulsion Laboratory, Instituto de Tecnología de California
51	Andrew P. Ingersoll
52	Gareth P. Williams
53	Walken Graphics
56	Eric I. Knudsen, Facultad de Medicina de la Universidad de Stanford
58-68	Tom Prentiss
71	Emil O. Bernstein y Eila Kairinen, Gillette Research Institute
72	Robley C. Williams, Universidad de California en Berkeley
73-79	George V. Kelvin
83	Gabor Kiss
84	Carol Hansen
86-90	Gabor Kiss
91	R. F. Bonifield
95-99	Ian Worpole
100	Laszlo Kubinyi
102	Ian Worpole
104-109	Ilil Arbel
110-111	R. F. Bonifield
112-114	Michael Goodman

Ex Libris
Scan & Digit

The Doctor

http://thedoctorwho1967.blogspot.com.ar/

http://el1900.blogspot.com.ar/



http://librosrevistasinteresesanexo.blogspot.com.ar/

https://labibliotecadeldrmoreau.blogspot.com/

Los autores

KOSTA TSIPIS ("Armas láser"), físico del Instituto de Tecnología de Massachusetts, es director adjunto del Programa Científico y Tecnológico para la Seguridad Internacional que se desarrolla en el departamento de física de aquella institución. Nacido en Grecia, se trasladó a los Estados Unidos en 1954 para estudiar física e ingeniería eléctrica. Tras licenciarse por la Universidad Rutgers, en 1958, se doctoró por la de Columbia en 1966. Ese mismo año se incorporaría al departamento de física del MIT.

RICHARD P. BLAKEMORE y RICHARD B. FRANKEL ("Navegación magnética en bacterias") describen su trabajo en común como un "fructífero y saludable mutualismo obligado entre un físico y un biólogo" y como "una verdadera colaboración interdisciplinar en la que cada uno ha tenido que aprender el lenguaje del otro para poder llevarla adelante". Blakemore, el biólogo, descubrió el fenómeno de la magnetotaxia en bacterias hace seis años, cuando todavía era estudiante de segundo ciclo de la Universidad de Massachusetts en Amherst. Tras doctorarse en microbiología ingresó en el claustro docente de la Universidad de New Hampshire, donde enseña esa materia. Frankel, el físico, dice haberse convertido en "empedernido biólogo-adicto" desde que unió sus fuerzas a las de Blakemore. Licenciado por la Universidad de Missouri, se doctoró por la de California en Berkeley. Desde 1965 es miembro de la plantilla de investigadores del Francis Bitter National Magnet Laboratory, adscrito al Instituto de Tecnología de Massachusetts.

EULOGIO BEDMAR y JOSE OLIVARES ("Limitaciones de la fijación biológica de nitrógeno") se hallan adscritos a la Estación Experimental del Zaidín, Granada, centro del Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Bedmar se dedica, desde 1974, a la investigación sobre diferentes aspectos de la simbiosis *Rhizobium*-leguminosa. Es doctor en ciencias biológicas por la Universidad de Granada y ha publicado varios trabajos sobre el tema. Olivares se doctoró en farmacia en la misma institución superior. Tras completar su formación en Alemania fue becario de la Fundación March en España. Invitado por distintas universidades y centros de investigación ha dado cursos y conferencias en varios países de habla española. Dirige el departamento de microbiología del Zaidín.

ANDREW P. INGERSOLL ("Júpiter y Saturno") enseña ciencias planetarias en el Instituto de Tecnología de California (Cal Tech). Se licenció por el Amherst College en 1960 y se recibió de doctor por la Universidad de Harvard en 1965. En 1966 ingresó en el Cal Tech. Especialista en atmósferas planetarias, ha tomado parte en el análisis de los datos de varias misiones espaciales norteamericanas. Recientemente, la NASA le concedió la medalla al éxito científico por su trabajo en el proyecto Voyager. Escribe: "Vivo con mi esposa, cinco hijos, algunos estudiantes de segundo ciclo del Cal Tech y un investigador postdoctoral en un hermoso caserón de Pasadena, que a veces ha recibido el nombre de comuna de científicos que trabajan duro. Me divierten los problemas y la competividad; el mérito de mantener mi comportamiento dentro de las formas civilizadas corresponde enteramente a mi familia y amigos".

ERIC I. KNUDSEN ("El oído de la lechuza") es profesor adjunto de neurobiología de la Facultad de Medicina de la Universidad de Stanford. Obtuvo sus grados académicos por la Universidad de California: licenciado en 1971 (en el campus de Santa Bárbara) y doctorado en ciencias en 1976 (en el de San Diego). "Empecé mi carrera de investigación, escribe, interesándome, aún estudiante, por la bioluminiscencia de un alcionario, animal primitivo que pertenece a uno de los tipos más sencillos (Celentéreos). Desde entonces mi interés ha recorrido progresivamente la escala evolutiva, desde la cacerola de las Molucas (tesis de licenciatura) hasta el pez gato (tesis doctoral), y de allí a la lechuza (trabajo postdoctoral)."

RUSSELL F. DOOLITTLE ("Fibrinógeno y fibrina") enseña bioquímica en la Universidad de California en San Diego. Estudió biología en las universidades de Wesleyan y Harvard, recibiéndose de doctor por esta última en 1962. Tras disfrutar de una beca postdoctoral de dos años en el Instituto Karolinska y en la Universidad de Lund, continuó sus trabajos sobre la estructura y evolución del fibrinógeno en San Diego. Durante el curso académico 1971-1972 desarrolló su trabajo en el Wolfson College de la universidad oxoniense.

RICHARD PAVELLE, MICHAEL ROTHSTEIN y JOHN FITCH ("Algebra por ordenador"), aunque distantes geográficamente, colaboran en la aplicación de métodos computarizados a problemas matemáticos de diversas ramas de la ciencia. Pavelle forma parte del Laboratorio de Ciencias de Cómputo del Instituto de Tecnología de Massachusetts. Tras graduarse en ingeniería nuclear por la Universidad de Columbia, se doctoró en matemáticas por la de Sussex. Su "devoción" por el álgebra computarizada nació en 1974, cuando un cálculo, que realizado "a mano" le ocupó tres meses el año anterior, "se rehizo (y confirmó) en dos minutos mediante el sistema MACSYMA del MIT". Rothstein enseña ciencias de cómputo en la Universidad estatal de Kent. Su interés por ellas se suscitó en la Universidad Nacional de Colombia en Bogotá, donde se licenció en matemáticas, en 1970. Una beca Fulbright le llevó después a la Universidad de Wisconsin en Madison, donde se doctoró en 1976. Antes de ingresar como profesor de la estatal de Kent, en 1980, Rothstein enseñó ciencias de cómputo en la Universidad Simón Bolivar de Caracas. Fitch es profesor de ingeniería de soportes lógicos (*software*) en la Facultad de Exactas de la Universidad de Bath, donde ocupa también el cargo de director del centro de cálculo universitario y encabeza el grupo de estudio de análisis numérico y ciencias de cómputo. Se educó en la Universidad de Cambridge, donde se licenció en matemáticas y se recibió de doctor.

GEORGE GALE ("El principio antrópico") es profesor adjunto de filosofía y ciencias físicas de la Universidad de Missouri en Kansas City. Se formó en la Universidad de Santa Clara y en la de California en Davis, donde se doctoró en 1971. "Redacté, cuenta, gran parte de la disertación doctoral siguiendo cursos como estudiante en la Universidad de Oxford. En mi tesis, que versaba sobre 'Leibniz: el físico como filósofo', examiné el influjo de las concepciones físicas leibnizianas sobre su sistema filosófico, así como sobre los orígenes de la dinámica de campos. La historia de los comienzos de la teoría de campos sigue siendo uno de mis principales intereses, centrándose otros en la física moderna, sobre todo en las partículas y en la relatividad... Cuando no estoy enfrascado en algún libro, me ensucio las manos cultivando mi viña."

Armas láser

¿Podrían los láseres instalados en satélites defender una nación contra el ataque de misiles? No parece fácil que así sea. A los obstáculos técnicos hay que añadir la fragilidad de esas armas ante sencillas contramedidas

Kosta Tsipis

Un láser de alta energía puede taladrar fácilmente, por combustión, una placa metálica de bastante espesor. La industria lo utiliza como herramienta de corte. Capacidad que indujo a pensar, en obvio razonamiento, en su posible uso como arma en caso de guerra. Pero algunos ingenieros de armamento han querido ver en él algo así como la pistola de rayos de las películas de ciencia-ficción. Se apuntaría el rayo láser contra un avión, un misil atacante o cualquier otro objetivo, desintegrándolo al instante. Y puesto que se propaga con la velocidad de la luz, no cabría correr más que él o esquivarlo. La verdad es que en ensayos preliminares, bajo condiciones controladas, los láseres han destruido pequeños aviones con guía remota.

Recientemente, ha habido quienes en el Congreso de los Estados Unidos, en el Ministerio de Defensa y en la industria aeroespacial han sostenido que los láseres de alta energía tenían capacidad potencial para destruir, en vuelo, misiles balísticos intercontinentales. Al argüir que la Unión Soviética ha realizado un gran esfuerzo para desarrollarlos como armas contra misiles, con el consiguiente retraso norteamericano en este campo, urgen a la Administración Reagan a que amplíe generosamente el programa nacional de armas láser, que ya recibe en la actualidad 300 millones de dólares al año.

¿Con qué objetivos? Sería el principal desplegar en órbitas terrestres, a lo largo de los próximos 10 años, una red de armas láser de gran potencia, que tendrían por misión destruir los misiles intercontinentales rusos, en cuanto fueran lanzados. Habría que procurar también desarrollar esos ingenios para su lanzamiento desde tierra en misión de ataque contra satélites enemigos y de defensa de objetivos vitales, de la agresión posible de aviones o misiles tácticos.

Los efectos de tales armas hipotéticas sobre el equilibrio militar mundial y sobre las expectativas de limitación de armas nucleares debieran merecer, algún día, atenta consideración. De momento, sin embargo, habrá que plantearse una cuestión más apremiante ¿Resulta factible, desde el punto de vista técnico, un sistema eficaz de armas láser? Sostendré aquí que los objetivos fijados para el desarrollo de armas láser tardarán posiblemente en alcanzarse más de los diez años marcados. La verdad es que mientras no se superen bastantes obstáculos fundamentales para el empleo del láser como arma, esas metas no se lograrán nunca. Hay dificultades atribuibles a la física de la propagación de un rayo láser sobre grandes distancias; otras tienen un origen tecnológico o económico.

La capacidad bélica de los láseres ha sido objeto de examen en una serie de seminarios organizados por el Programa de Ciencia y Tecnología para la Seguridad Internacional, del Departamento de Física del Instituto de Tecnología de Massachusets (MIT). Tomaron parte colegas míos del MIT, y yo mismo, así como investigadores procedentes de otras universidades, de la industria y de los laboratorios nacionales de armamento. Hemos llegado a la conclusión siguiente: el láser, como arma defensiva práctica y atendiendo a la adecuada relación coste/eficacia, tiene muy pocas, o ninguna, probabilidades de éxito.

Un láser genera un intenso chorro de ondas electromagnéticas, dotadas todas ellas de idéntica frecuencia, fase y dirección de movimiento; se dice entonces que las ondas son coherentes. La propiedad de la coherencia resulta esencial en su aplicación bélica, puesto que, para ser eficaz en su ataque, un haz de luz láser ha de ser intenso, bien colimado y hallarse en fase las ondas que lo constituyen. Aunque, en principio, la intensidad de la luz de un láser es ilimitada, en la práctica depende de su tamaño y de las propiedades del material donde se genera la luz coherente.

El medio activo de un láser puede ser un sólido, un líquido o un gas. Los láseres de alta energía suelen utilizar un gas molecular. Para iniciar la acción láser debe suministrarse energía externa a las moléculas del gas. Parte de esta energía incrementa la energía cinética de las moléculas y, por tanto, se limita a calentar el gas; parte se absorbe en los movimientos internos de vibración y rotación de las moléculas. La molécula así excitada abandona su estado inferior de energía de vibración o rotación (el estado fundamental) y pasa a ocupar otro más alto. Resulta de ello que los estados de baja energía se despueblan y un número significativo de moléculas ingresa en un estado excitado. Situación que los físicos denominan inversión de la población de moléculas del gas.

La molécula que se halle en un estado excitado retornará a un estado de inferior energía emitiendo un fotón, un cuanto de radiación electromagnética. La frecuencia de la radiación viene determinada enteramente por la diferencia de energía de los dos estados. El funcionamiento del láser depende de una peculiaridad de la interacción de los fotones con la materia. Cuando un fotón emitido por una molécula excitada choca con otra en el mismo estado de excitación, puede estimular la emisión por esta segunda molécula de un fotón adicional de la misma fase y frecuencia que el fotón estimulante. Ambos fotones pueden luego estimular emisiones similares de otras moléculas, de suerte que el número de fotones idénticos en movimiento a través del colectivo de moléculas crece exponencialmente. La naturaleza de este proceso se recoge en la palabra LASER, acuñada como acrónimo de "*L*ight *A*mplification by *S*timulated

*E*mission of *R*adiation" ("amplificación de la luz por emisión estimulada de radiación").

En un láser, un conjunto de moléculas sometido a una inversión de su población se encierra en una "cavidad" óptica con superficies especulares y paralelas en los extremos. Los fotones emitidos por las moléculas excitadas, al ser reflejados por los dos espejos, recorren una y otra vez el medio generador del láser y estimulan la emisión de fotones por nuevas moléculas, pordadores todos de la misma frecuencia y fase. Puesto que sólo los fotones que siguen un camino exactamente perpendicular a los espejos permanecen en la cavidad tiempo suficiente para ser amplificados, la luz generada en su interior constituye un haz muy bien colimado. Se permite que una pequeña porción del haz abandone la cavidad al hacer parcialmente transparente uno de los espejos.

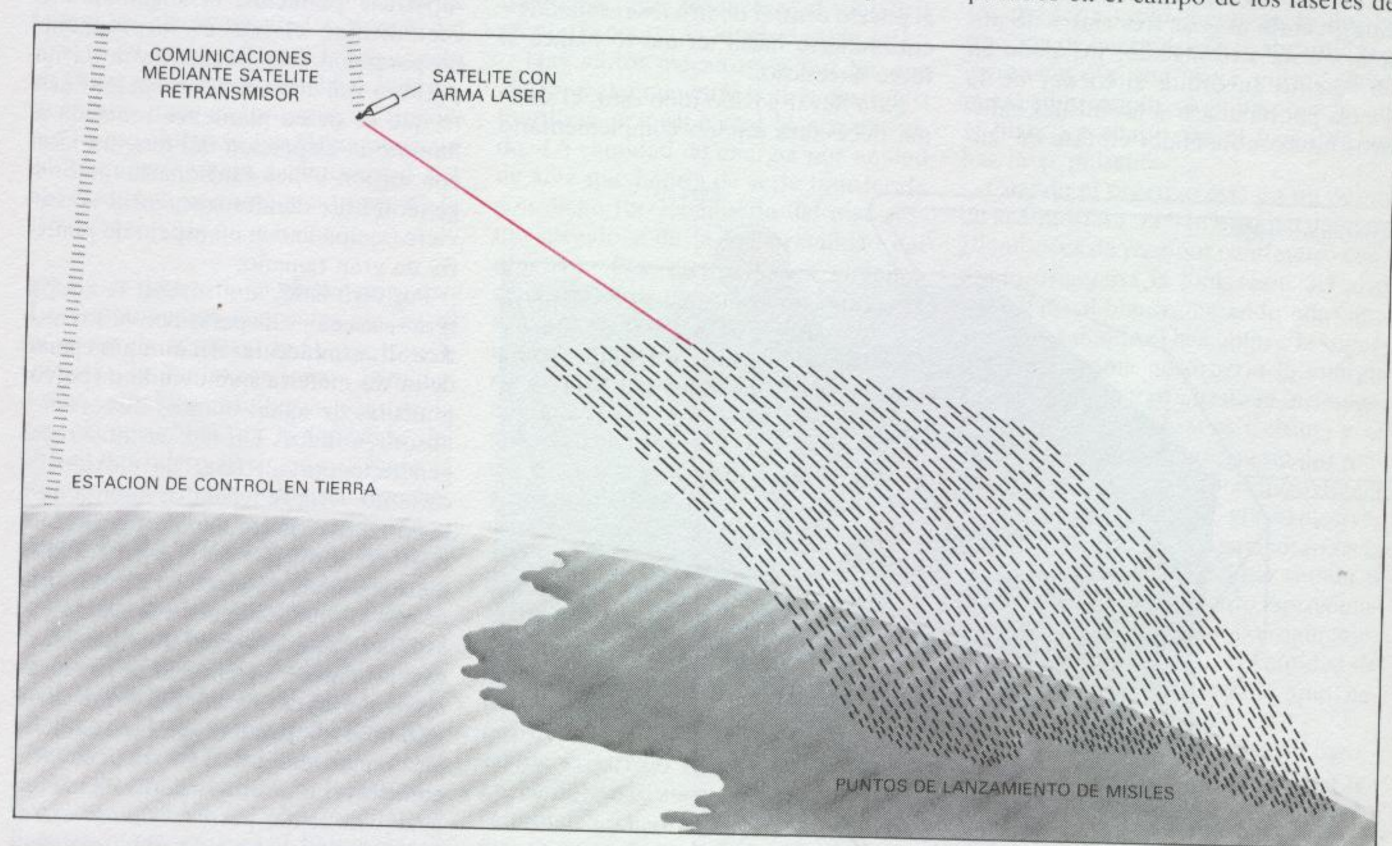
Los fotones cuya frecuencia corresponde a la región visible del espectro electromagnético tienen poca energía: menos de 10^{-19} joule, o watt por segundo. Ahora bien, la emisión de energía de un láser puede alcanzar muchos miles de joule, emitidos en un tiempo sumamente breve, a veces de sólo millonésimas de segundo. ¿A qué obedece ello? A que cabe estimular un número de átomos ingentes (hasta 10^{23}), para que radien muchas veces durante este corto intervalo.

Tres clases de láser de alta energía entran en la consideración de armas potenciales. Se ordenan conforme al mecanismo que crea la inversión de la población en el medio de trabajo. En los láseres por dinámica gaseosa, se generan por combustión gases del estilo del dióxido de carbono. El gas se forma a alta temperatura, lo que comporta que la mayoría de las moléculas se hallen en estados excitados. El gas se enfría repentinamente luego por expansión a través de una serie de toberas; el enfriamiento es tan rápido que las moléculas que ocupan estados excitados no tienen tiempo de volver al estado fundamental. Se crea de este modo una inversión de la población, que origina la emisión de radiación láser inmediatamente después de la expansión.

En un láser de descarga de electrones, se logra la inversión de la población merced a un haz de electrones dirigido a través del medio gaseoso activo. Los electrones ceden parte de su energía en colisiones con las moléculas del gas, originando transiciones a estados energéticos de vibración o rotación más elevados. A través de este mecanismo se prolonga indefinidamente la inversión de la población.

En un láser químico, dos elementos o compuestos químicos se combinan para formar moléculas de un nuevo compuesto; hidrógeno y flúor gaseosos, por ejemplo, pueden combinarse para formar fluoruro de hidrógeno. Las moléculas se originan en un estado excitado; controlando su entorno, podemos lograr la emisión estimulada de radiación antes de que vuelvan al estado fundamental por disipación de su energía en forma de calor.

Estos tres métodos consiguen la inversión de la población, con buen rendimiento, en un nutrido conjunto de moléculas. Pero la práctica impone límites al tamaño de una cavidad óptica eficiente para un láser, así como a la potencia que puede manejar. Gran parte de la investigación y desarrollo empeñados en el campo de los láseres de



ENTRE LAS MISIONES PROPUESTAS para las armas láser está la de defender a una nación contra los misiles balísticos intercontinentales. Se montaría el láser en un satélite en órbita que girase a más de 1000 kilómetros de la superficie de la Tierra, y atacaría a los misiles en su fase de propulsión o despegue, que viene a durar unos ocho minutos. Se necesitarían unos 50 satélites para garantizar que uno al menos estuviera siempre a una distancia eficaz de tiro de las rampas de lanzamiento. A cada satélite le correspondería un lote de hasta 1000 misiles a abatir en ocho minutos, ya que los satélites restantes estarían sobre algún otro lugar de la Tierra. Para los trabajos de detección y seguimiento, se servirían de sensores de infrarrojos o radares. Otros sensores distintos determinarían el error de puntería, o evaluarían el daño causado en la hipótesis de que el haz alcanzara al misil. Un satélite retransmisor, que girase en una órbita más alta, actuaría de enlace de comunicaciones con tierra. No se muestra aquí ninguna de las contramedidas que anulan el arma láser, pero incluso bajo estas condiciones simplificadas las limitaciones físicas (atmosféricas y otras) y tecnológicas hacen del láser un arma inviable.

alta energía tiene por objeto relajar tales restricciones.

Un arma láser diferiría en tres aspectos principales de todos los artefactos desplegados hasta ahora. En primer lugar, transportaría la energía destructora hasta el objetivo en forma de un intenso haz de ondas electromagnéticas, en vez de hacerlo en forma de carga explosiva instalada en la cabeza de un misil o de un proyectil. En segundo lugar, avanzaría con la velocidad de la luz, a unos trescientos millones de metros por segundo; recordemos, a modo de comparación, que un misil supersónico alcanza una velocidad entre 1000 y 2000 metros por segundo. Por último, el haz láser ha de dar caza real al objetivo para que pueda inutilizarlo, mientras que una cabeza nuclear explosiva puede resultar eficaz a bastante distancia del blanco. En consecuencia, para que un arma láser cumpla su cometido, ha de conocerse la posición del objetivo dentro de un margen de error igual a la menor de sus dimensiones, exigiéndose además idéntica precisión al apuntar el láser.

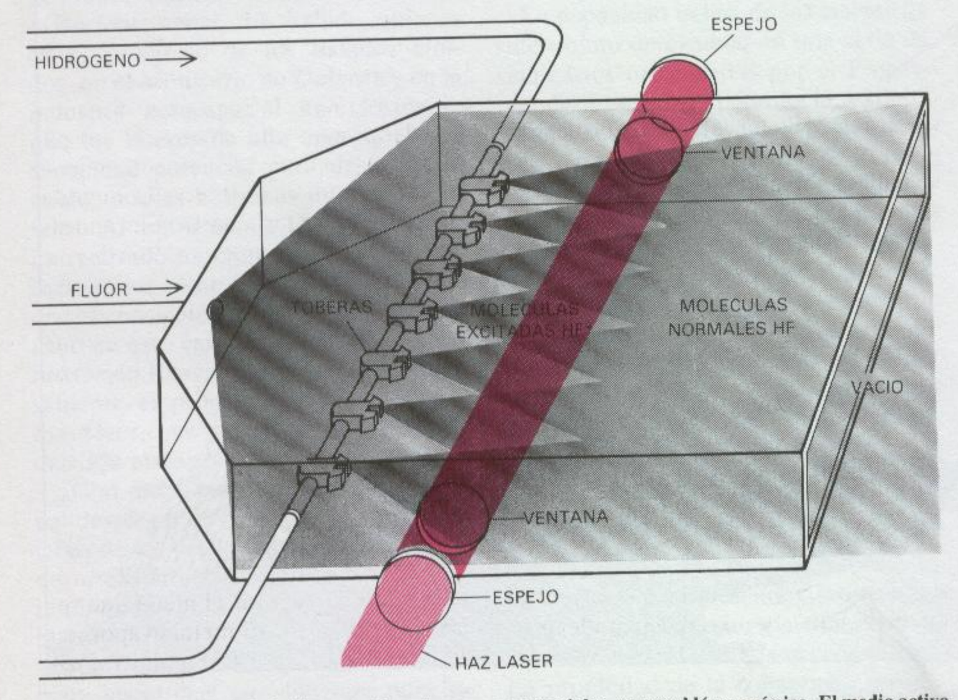
En razón de esas características señaladas, cabría asignar tres clases de misiones a nuestro ingenio. Instalado en un satélite en órbita alrededor de la Tierra podría atacar a los misiles balísticos intercontinentales en fase de lanzamiento, intervalo que viene a durar unos ocho minutos, y podría atacar a los satélites enemigos en órbita. Desde su base en tierra podría abatir satélites y aviones enemigos que lo sobrevolaran; montado en un buque, podría defenderlo de misiles agresores. Por último, un arma láser transportada en avión podría acabar con misiles o aviones enemigos.

En cualquiera de estas misiones, el sistema de arma láser tendría que consumar con éxito una secuencia entera de operaciones. En primer lugar, detectar el blanco y distinguirlo de posibles señuelos y otros objetos de su entorno. Apuntar luego el haz láser al objetivo, seguir sus movimientos y disparar el haz a través del medio que lo rodea. Tras cada disparo habría que determinar si se ha hecho o no blanco. Supongamos un golpe fallido. El sistema tendría que precisar por cuánto, en qué dirección se orientó mal el haz luminoso, corregir la puntería y disparar de nuevo. Después de un impacto, sería preciso determinar si se ha destruido o no el objetivo; en caso negativo, se repitiría el proceso de puntería y disparo. Finalmente, el sistema ha de comunicar al puesto central de tiro los resultados y encaminarse hacia un nuevo blanco si fuere necesario.

Para llevar a cabo todo esto, el sistema necesitará equipo complementario del propio láser. Desde un gran espejo, gobernado por un sistema de mando sumamente preciso para apuntar el haz al objetivo, hasta un conjunto de sensores capaces de detectar, identificar y determinar la posición del objetivo con la precisión y estabilidad requeridas, pasando, además, por precisos dispositivos de control que transmitan las indicaciones de los sensores al espejo de puntería. Sin olvidar aparatos especializados que evalúen el daño causado al objetivo o, en su caso, determinar el error de puntería; amén de obvios equipos generadores de potencia y almacenadores de energía, así como un dispositivo para suministrar energía al láser, en pulsos intensos, en el momento oportuno.

Un sistema de arma láser que opere en el espacio exterior y ataque objetivos situados allende la atmósfera terrestre podría enviar sus rayos a muy largas distancias, porque la luz se propaga sin impedimentos en el vacío. Sin embargo, el haz divergiría algo a causa de la difracción, consecuencia de la naturaleza ondulatoria de la luz. Si se supone que el espejo posee una forma y superficie perfectas, el ángulo por el cual diverge el haz es inversamente proporcional a la frecuencia de la luz del láser y al diámetro del espejo. Puesto que se desea mantener reducida al mínimo la dispersión del haz, un láser con misión bélica funcionaría mejor si generara luz de alta frecuencia y estuviere equipado con un espejo de puntería de gran tamaño.

Por otro lado, al atravesar la atmósfera se atenúa y dispersa por varios motivos. Las moléculas del aire y las partículas de materia que contiene (polvo, gotículas de agua, humos) dispersan y absorben la luz. Un haz de infrarrojos generado por un láser de dióxido de carbono vería reducida su intensidad a la mitad tras cuatro kilómetros de recorrido en aire frío y seco, o en 1,5 kilómetros en aire caliente y húmedo. Las nubes, el humo, el polvo, la niebla y la espesa bruma absorberían el haz en su casi totalidad. La eficacia de un arma láser que opere en la atmósfera, resumiríamos, dependerá de las condiciones meteorológicas. Tal dependencia constituye un serio inconveniente en cualquier arma, pero resulta de extrema gravedad en un arma defensiva, que habría de reaccionar ante un ataque desplegado en el momento (y, por tanto, en las condiciones meteorológicas) elegido por el enemigo. Hasta en tiempo despejado el láser puede ser refractado, dispersado o totalmente inte-

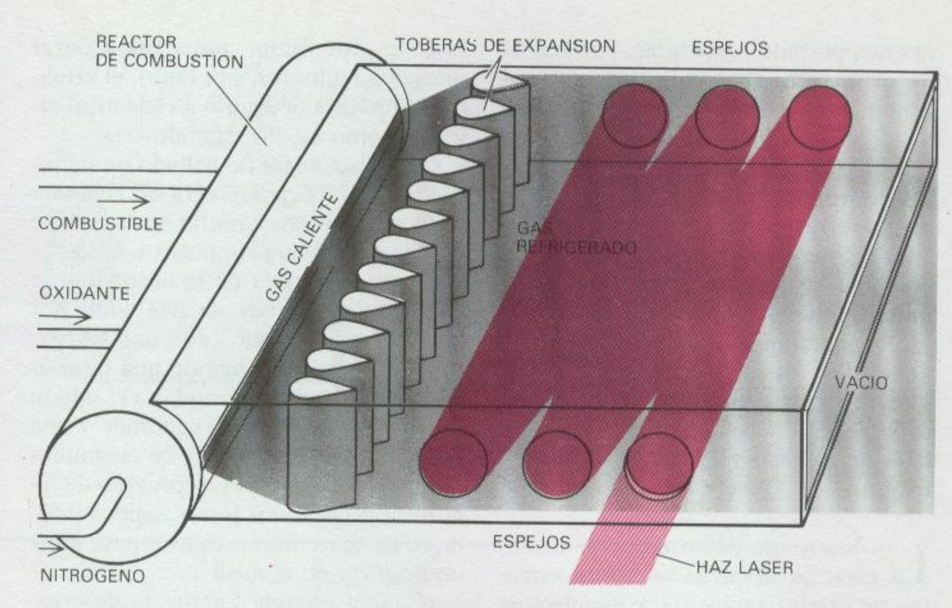


DE LAS TRES CLASES de láser consideradas armas potenciales, una es el láser químico. El medio activo es un gas en el que gran parte de sus moléculas han sido transportadas a un estado excitado, creando una "inversión de la población" de las mismas. La luz se amplifica cuando atraviesa repetidamente el medio en la "cavidad" óptica formada por dos espejos. La reacción química entre los dos gases crea el medio activo. El flúor y el hidrógeno que fluyen de una batería de toberas se combinan para originar moléculas de fluoruro de hidrógeno en estado excitado (HF*). Para prolongar la existencia de las moléculas excitadas se mantiene baja la densidad mediante la extracción de los productos de combustión por un sistema de vacío. Cuando las moléculas excitadas (HF*) vuelven después a su estado fundamental (HF), emiten luz.

rrumpido por los fenómenos atmosféricos. La turbulencia origina rápidos cambios locales en la densidad del aire que refractan un rayo de luz o lo hacen divergir. Tenemos un ejemplo de este fenómeno en el parpadeo de las estrellas y de las luces distantes.

Una fracción considerable de la energía de un rayo láser queda absorbida por la atmósfera. De ahí que el aire que va cruzando el haz se caliente y expansione creando un canal de aire de baja densidad. Las ondas luminosas se refractan y alejan de las regiones más calientes y menos densas del medio, lo que determina que el haz diverja. Se ha denominado a este fenómeno "divergencia térmica", y por él se explica el desenfocado y dispersión de un rayo láser en el aire.

Citemos un último obstáculo a la propagación de un haz láser a través de la atmósfera: el riesgo de creación de un plasma. Por ser las ondas luminosas una forma de radiación electromagnética, el haz de luz intenso irá acompañado de un intenso campo eléctrico. A intensidades del orden de los 10 millones de watt por centímetro cuadrado (el valor exacto dependerá de la frecuencia de la radiación), el campo, más fuerte, separa los electrones de los átomos del aire; y así ioniza el medio, originando un plasma. Este absorbe el haz luminoso e interrumpe su transmisión. En virtud de ese efecto se establece, pues, un límite superior para la intensidad del haz láser que se propaga a través de la atmósfera.



LASER POR DINAMICA GASEOSA. Aquí se logra la inversión de la población generando un gas caliente, que se refrigera luego repentinamente. Se quema el combustible con un oxidante para formar dióxido de carbono a alta temperatura. La emisión de luz en el dióxido de carbono se origina en las transiciones entre dos estados excitados. En el gas caliente, muchas moléculas ocupan estados excitados, pero no cabe la acción láser, ya que el nivel de energía láser de la población superior no es mucho mayor que el de la población de nivel inferior; a alta temperatura las moléculas del nivel inferior no lo abandonan por emisión en cascada hasta el nivel fundamental. Cuando el gas se refrigera rápidamente por expansión a través de las toberas, se torna accesible el estado fundamental, así como las transiciones desde el nivel superior al inferior. El nitrógeno añadido a la mezcla transfiere energía a las moléculas de CO_2.

El láser destruiría el blanco por recalentamiento: concentrando en él más energía térmica de la que puede soportar su funcionamiento. Pero los daños infligidos resultarían sólo de la energía absorbida por la superficie del objetivo. Quiero decir que si fuera el blanco de aluminio brillante, absorbería tan sólo el 4 por ciento de la radiación procedente de un láser de infrarrojo que lo alcanzara. El resto se reflejaría sin causar desperfecto alguno.

¿Cuánta energía láser absorbería el objetivo? Dependería de la frecuencia de la radiación, de su material de fabricación y del estado de su superficie. Las radiaciones visible e infrarroja se reflejan, poco menos que enteramente, por una superficie metálica pulida; no llegaría en este caso ni al 10 por ciento de la energía transportada por el láser la que se absorbiera, y cumpliera, por tanto, con su misión destructora. Mucho más elevada es la fracción de radiación ultravioleta absorbida por una superficie metálica; aquí, más de la mitad de la energía en forma de radiación ultravioleta que alcanzase el objetivo atentaría contra la integridad de éste.

Hay varios mecanismos por los que el sobrecalentamiento podría destruir o inutilizar un misil u otro blanco parecido. La cantidad de energía por unidad de área que habría de serle transferida con dicho fin dependería del mecanismo elegido y de la vulnerabilidad del objetivo. Por ejemplo, los circuitos electrónicos de un satélite no protegido acabarían por estropearse si el vehículo se hallara sometido a iluminación incesante, a lo largo de varios minutos, por un haz láser con una intensidad de aproximadamente un watt por centímetro cuadrado. Ello viene a suponer 10 veces la intensidad de la luz solar en las capas superiores de la atmósfera. La absorción de 1000 watt por centímetro cuadrado durante un segundo (una cantidad total de energía absorbida de 1000 joule por centímetro cuadrado) fundiría una superficie metálica de milímetros de espesor. Sin embargo, para transferir tal cantidad de energía, un láser de infrarrojo tendría que inyectar en el objetivo unos 20.000 joule por centímetro cuadrado, puesto que la mayor parte de la energía se reflejaría.

Un láser que transmita su energía en breves y potentes destellos o pulsos puede alcanzar una intensidad instantánea de un millón de watt por centímetro cuadrado, si bien la potencia promedio sería muy inferior. La superficie de un objetivo alcanzado por tales pulsos perdería rápidamente su brillo; la fracción de energía del haz absorbida se incrementaría con cada pulso. Cabe pues, en principio, abrir una brecha en el blanco a abatir con el fuego de un haz láser pulsante.

Cuando el objetivo esté en un punto de la atmósfera, una intensidad de unos 10 millones de watt por centímetro cuadrado originaría la ionización del aire inmediato al blanco, creando una capa de plasma donde el haz golpee la superficie. El plasma absorbería la energía del haz, se calentaría hasta la incandescencia (unos 6000 grados Celsius) y se liberaría de aquella energía de dos maneras: emitiendo radiación ultravioleta y expansionándose por vía explosiva. Uno y otro mecanismo aumentarían la proporción de energía del haz cedida al objetivo en un 30 por ciento, aproximadamente, reduciendo por consiguiente, en la misma proporción, la cantidad de energía que el láser tendría que generar.

Un haz pulsante de intensidad extrema llegaría a evaporar el metal que recubriera el blanco. El metal evaporado escaparía de la superficie a alta velocidad y su cantidad de movimiento se equilibraría con una cantidad de movimiento idéntica y de signo contrario, aplicada sobre el objetivo. El impulso generado de esta manera podría despedazar o agrietar un ingenio metálico.

El conocimiento físico de estos efec-

tos nos permite conjeturar, con buena aproximación, las condiciones que habría de reunir un arma láser para llevar a cabo determinadas misiones. Creo que vale la pena detenerse en una misión específica: la de un arma láser en órbita terrestre, diseñada para destruir misiles intercontinentales balísticos del enemigo en fase de propulsión. Aunque se trata de la aplicación más remota, si nos atenemos a su viabilidad y tiempo de desarrollo, resulta la más atractiva desde el punto de vista conceptual, y la más citada cuando se debate en público este sector del armamento.

Los láseres de defensa contra misiles estarían desplegados sobre satélites, en órbitas a unos 100 kilómetros de la superficie terrestre. A tamaña altura, los puntos de lanzamiento ubicados en la Unión Soviética, sólo se hallarían dentro de la distancia eficaz de un satélite breves intervalos de tiempo en cada órbita. Para garantizar que, permanentemente, hubiere al menos un satélite a distancia de tiro, la red tendría que contar con unos cincuenta satélites. Cada satélite habría de ser capaz de destruir, por sí mismo, una fuerza total de hasta un millar de misiles balísticos en fase de propulsión, que viene a durar unos ocho minutos. Por tanto, el satélite sólo podría dedicarle a cada misil algo así como medio segundo.

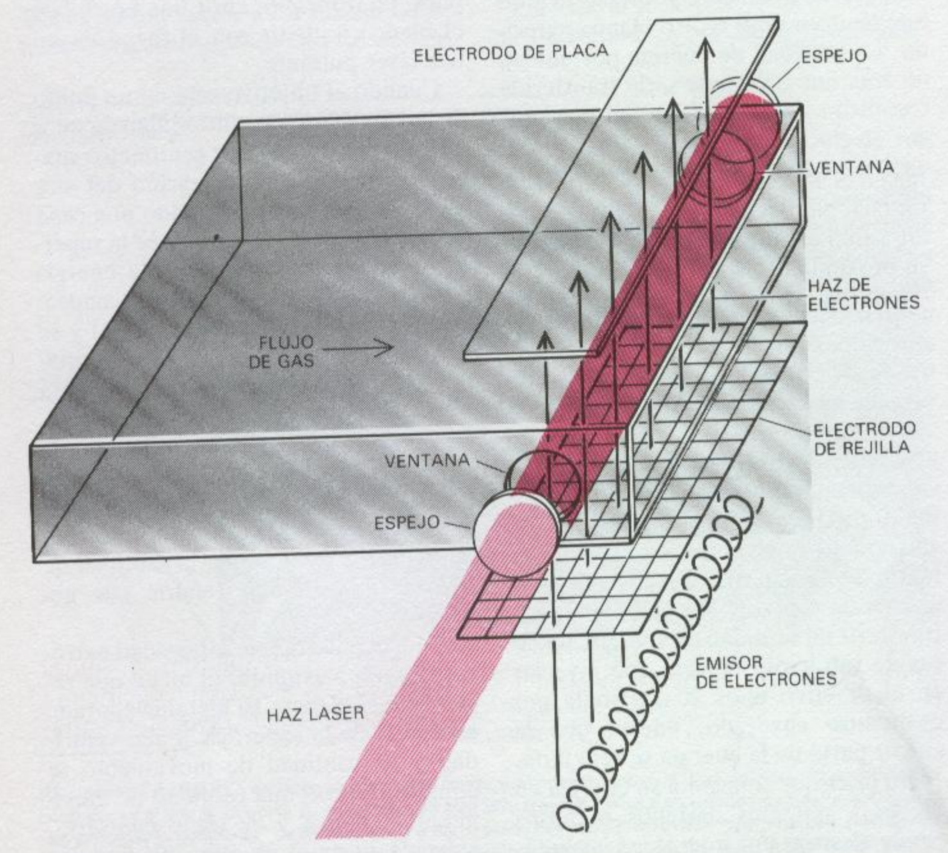
Con mis colegas he hallado un método eficaz para dejar fuera de combate misiles balísticos: agrietar su superficie mediante una carga impulsiva. El agrietamiento resultaría de la absorción de varios pulsos breves, de 1000 joule por centímetro cuadrado cada uno. Aportaría la energía un haz de una intensidad en el blanco que rondaría el millón de watt por centímetro cuadrado y una duración de los destellos de cienmillonésimas de segundo. Las pruebas de laboratorio cifran en torno a diez el número de destellos necesarios para abrir un boquete en el misil.

¿Cuánta energía habría de desarrollar ese láser? Supongamos que el arma en cuestión es un láser de destellos de fluoruro de hidrógeno y que el espejo director de su haz luminoso posee todas las garantías ópticas y mide un metro de diámetro. Puesto que sólo el 10 por ciento de la luz que incide sobre el objetivo se absorbe y cumple su misión inutilizadora, el láser deberá arrojar 10.000 joule por centímetro cuadrado y por destello contra su blanco. El área cubierta por el haz luminoso a 1000 kilómetros de distancia vendría a coincidir con la superficie del espejo: unos 8000 centímetros cuadrados. Para concentrar un flujo de energía de 10.000 joule por centímetro cuadrado sobre este área, la energía total del haz luminoso tendría que rondar los 80 millones de joule por destello. Si los pulsos duraran unos 100 microsegundos, la potencia del láser sería de casi un millón de megawatt, cifra absolutamente inalcanzable. (Las grandes centrales nucleares de explotación comercial tienen una capacidad de generación de poco más de 1000 megawatt.)

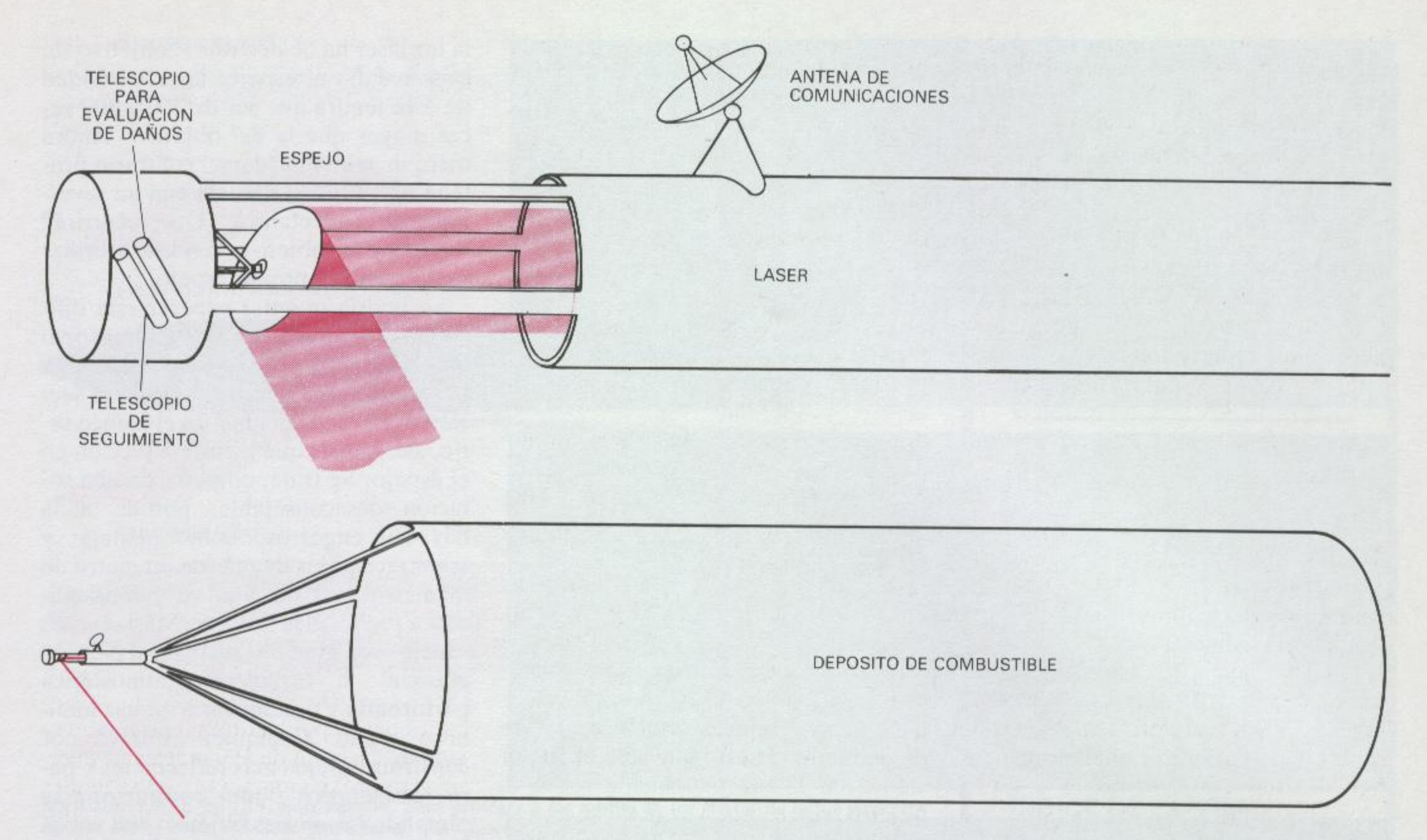
Si en vez de romper la carcasa del blanco la fundiéramos en una región circunscrita, no tendría que absorberse tanta energía aportada por el haz incesante. Así, una envoltura de aluminio de dos milímetros de espesor se fundiría cuando hubiese absorbido unos 400 joule por centímetro cuadrado. Si se supone que la reflectividad del aluminio es del 90 por ciento, un láser de dióxido de carbono de 100 megawatt necesitaría aproximadamente 100 segundos para asestar ese golpe a un objetivo distante 1000 kilómetros. La proporción del rendimiento es claramente desfavorable, puesto que el arma láser dispone de sólo medio segundo como máximo para atacar a cada misil en fase de despegue.

Podrían sortearse esas dificultades agrandando el espejo de puntería. Con un espejo de cuatro metros de diámetro, un láser de fluoruro de hidrógeno de 100 megawatt podría fundir el blanco en un segundo aproximadamente. Pero la fabricación de un espejo así, suficientemente robusto y de la necesaria calidad óptica, trasciende las posibilidades técnicas de los Estados Unidos y de cualquier otra nación. No se ve en el horizonte ninguna perspectiva de que se fabrique un espejo de cuatro metros dotado de la calidad óptica precisa.

Las necesidades de combustible de un sistema de arma láser representan otro obstáculo insuperable. Aun cuando el láser y su sistema de producción de energía funcionaran con absoluta eficacia, un láser de onda continua de fluoruro de hidrógeno consumiría algo así como 660 kilos de combustible por cada misil destruido. Para derribar 1000 misiles, habría que aprovisionar, a cada satélite, con 660 toneladas de combustible, que representan unas 20 cargas de la lanzadera espacial norteamericana. Los 50 satélites necesarios para garantizar una vigilancia continua de las bases soviéticas requerirían 1000 vuelos de la lanzadera espacial sólo pa-



LASER DE DESCARGA DE ELECTRONES. En este caso se logra la inversión de la población en las moléculas en el gas activo por medio de un haz de electrones. Los electrones ceden energía a las moléculas a través de las colisiones, llevándolas a un estado excitado. Se provoca la emisión de electrones mediante filamentos calientes o descarga eléctrica; un par de electrodos aceleran los electrones en la cavidad.



SATELITE ARTILLADO con un arma láser; necesitaría varios componentes, amén del propio láser. Así, un telescopio óptico o de infrarrojos para detectar y seguir la trayectoria del misil durante la etapa propulsada de su vuelo, y un espejo sobre articulación de rótula para apuntar el haz sobre el blanco. Tendría que tratarse de un espejo grande, robusto, altamente reflectante y ópticamente perfecto. Un sistema de control recibiría las señales del telescopio de seguimiento y dirigiría el haz moviendo el espejo. Otros sistemas de telescopios y captadores medirían el error de puntería o evaluarían el daño causado al blanco enemigo. Un enlace de comunicaciones con tierra transmitiría información acerca del objetivo y recogería las órdenes. Con mucho, empero, el componente más voluminoso del arma láser sería el relativo a la provisión de combustible y el sistema para manipularlo y suministrarlo al láser.

ra sus depósitos de combustible. La flotilla de cuatro lanzaderas espaciales, que realizaran cada una dos viajes por año, tardaría 125 años en suministrar el combustible necesario.

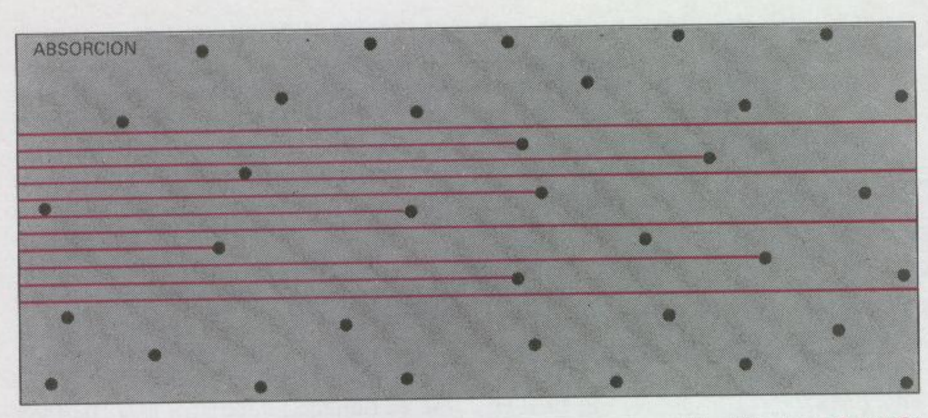
Las suposiciones en que se funda este razonamiento de un sistema hipotético de defensa contra misiles son ilusoriamente optimistas. Habría que puntualizar, en primer lugar, que no existe un láser de fluoruro de hidrógeno de 100 megawatt, ni hay visos de que un ingenio tal pudiera desarrollarse en un futuro previsible. Más aún, el rendimiento de un láser y del sistema de aporte energético no se aproximarán nunca al 100 por ciento. La eficiencia de los láseres existentes se halla en un porcentaje muy bajo; cabría esperar que algún día se alcanzara el 30 o 40 por ciento. A lo máximo a que puede aspirar un sistema de aporte energético es a un rendimiento del 30 por ciento. Así pues, el almacenamiento total de energía para cada satélite habría de multiplicarse por un factor de 10, como mínimo, y, más probablemente, de 30.

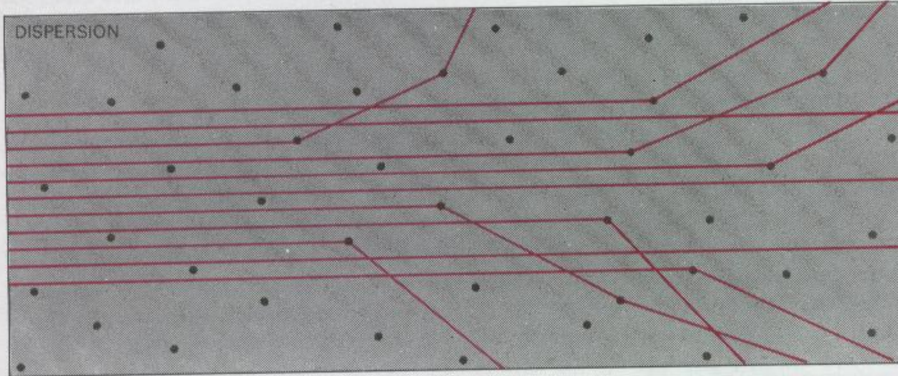
No es descabellado pensar que, andando el tiempo, se construya un arma láser apta para su despliegue en el espacio. Aun así, dudo que tenga éxito su explotación: sería vulnerable a múltiples contramedidas relativamente simples y baratas. Durante el largo tiempo invertido en ensamblar cada plataforma en el espacio, el sistema constituiría un fácil blanco a los ataques por armas antisatélites que hicieran explosión en su proximidad. Hasta una red terminada podría quedar transitoriamente inutilizada en instantes cruciales. ¿Cómo? Cegando sus captadores, saturando sus comunicaciones o confundiendo a sus sistemas de detección y seguimiento.

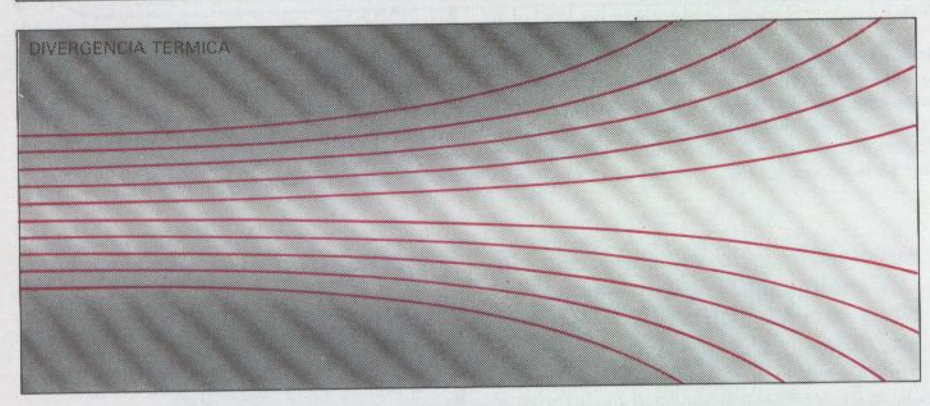
Otro destino verosímil para un arma láser con base en el espacio es el sistema antisatélite. Aunque su viabilidad resulta altamente discutible. En primer lugar, los satélites en órbita son ya vulnerables a las armas con cabeza nuclear, que pueden colocarse con exactitud en el espacio o incluso autodirigirse sobre un objetivo caliente en órbita. No se escaparía de ese riesgo el láser contra satélites con base en el espacio. El sistema láser sería, además, complejo y frágil y, por consiguiente, caro y difícil de mantener. Resulta muy improbable que un láser contra satélites ostente nunca una relación eficacia/coste mayor que ingenios mecánicos contra satélites lanzados desde tierra.

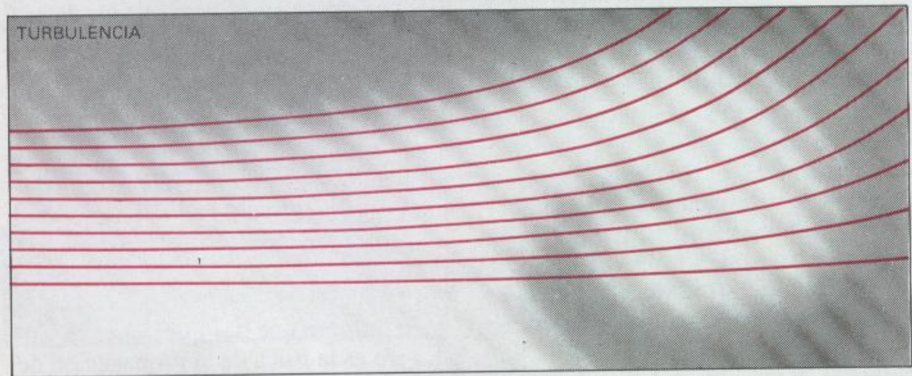
Volvamos a la viabilidad de un láser de alta energía que cumpliera misiones bélicas en la atmósfera terrestre. En principio, podría encargársele la protección de aviones y buques contra misiles enemigos y la destrucción de sus aeronaves. Pero ya hay sistemas de armas que realizan la misma tarea, incluidos los misiles supersónicos con guía de precisión y cañones de tiro rápido. Se trata de averiguar, por tanto, si el láser sería mejor arma. ¿Podría proporcionar esa protección de corto alcance con un coste menor y un rendimiento mayor?

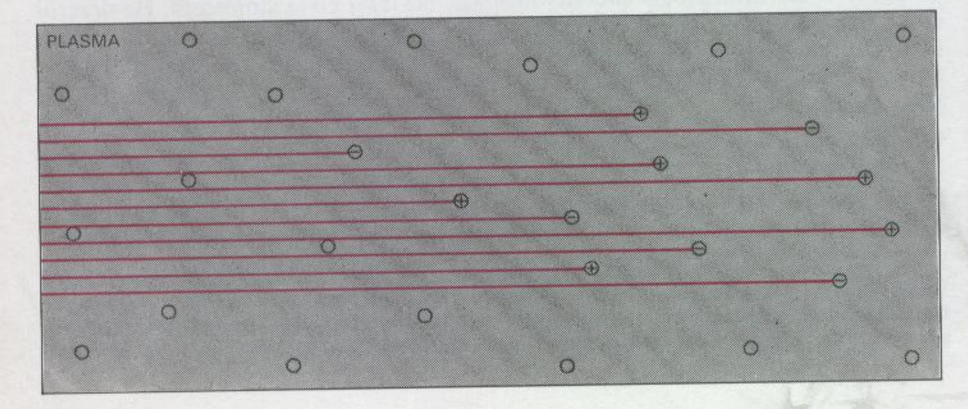
Lo primero que hay que poner en claro es la física de la propagación de un haz láser en la atmósfera. He descrito ya la divergencia térmica, la absorción y la ionización atmosférica. Sólo la divergencia y la absorción reducirían ya la intensidad de un rayo láser infrarrojo a una distancia de cinco kilómetros en un factor de 100 a 300. Si el tamaño del haz en el objetivo es aproximadamente igual al tamaño del espejo transmisor, la intensidad del haz en el espejo habría de ser de 100 a 300 veces mayor de lo que se precisa que sea en el blanco. De esta necesidad surge otra: si









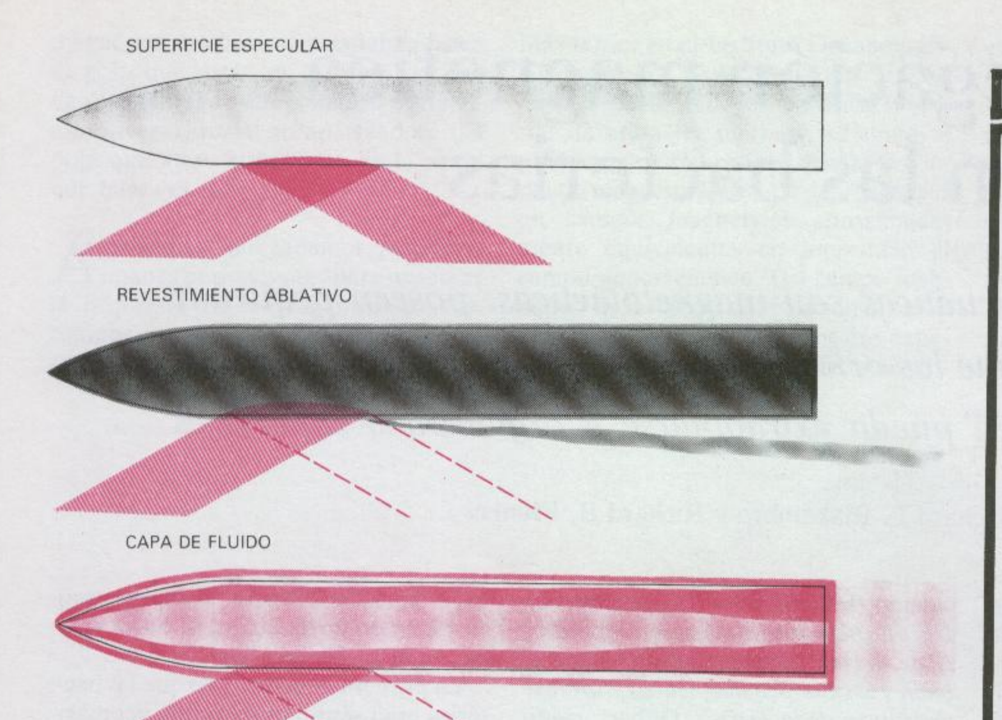


la luz láser ha de destruir el objetivo sin causar daño al espejo, la reflectividad de éste tendrá que ser de 200 a 300 veces mayor que la del objetivo. Ahora bien, imaginemos que el contrario protege sus misiles y aviones con un revestimiento reflectante. ¿Qué ocurrirá? Pues que el objetivo vendría a brillar tanto como el propio espejo.

Se podría intentar superar esta dificultad construyendo un gran espejo que enfocara el haz sobre el objetivo a pocos kilómetros de distancia. La sección transversal del haz en el blanco sería, así, menor que la misma sección en el espejo. Se trata, empero, de una solución desaconsejable, porque nada hay tan engorroso como manejar y apuntar espejos de más de un metro de diámetro, por no citar su vulnerabilidad a proyectiles simples. Más aún, los espejos con gran distancia focal pierden eficacia: la turbulencia atmosférica perturbaría y desenfocaría un haz luminoso ancho. Cualquier esfuerzo por construir espejos más reflectantes y para refrigerarlos podrá contrarrestarse pintando los misiles objetivo con varias capas de algún material ablativo que se quemaría y dispersaría la mayor parte de la energía incidente del haz láser. En esta competición entre láseres perfeccionados y contramedidas, aquéllos están en desventaja intrínseca, puesto que incluso con buen tiempo la atmósfera trabaja contra ellos.

Otra táctica a emplear con un láser comprometido en la defensa contra misiles sería esperar que el objetivo se hallara a sólo un kilómetro aproximadamente, antes de atacarlo. La intensidad del haz luminoso se degradaría entonces por un factor del orden de 10, en vez de 300, y quizá pudiera un espejo bastante reflector soportar el flujo de energía requerido para destruir el objetivo. El talón de Aquiles de este plan es la falta de tiempo. Un misil que se aproxime, por ejemplo, a dos veces la velocidad del sonido recorre el último kilómetro de su vuelo en segundo y medio. El láser carecería de tiempo su-

LAS INTERFERENCIAS atmosféricas podrían desviar o reducir la intensidad de un haz luminoso láser, que se propagase en su seno. El haz sería absorbido por partículas de materia y dispersado por el polvo, humo y gotículas de agua; las propias moléculas del aire absorben y dispersan al haz. La divergencia térmica se origina por el calentamiento del aire en el haz luminoso, creando una región de baja densidad, determinante de ese fenómeno de divergencia. La turbulencia conduce a variaciones locales en densidad y en índice de refracción que desvían y difunden el haz de forma impredecible. Una luz láser muy intenso podría ionizar las moléculas del aire creando un plasma que absorbería y, por consiguiente, interrumpiría la acción del haz.



MEDIDAS DEFENSIVAS, muy baratas, para proteger a los misiles de los efectos de la luz láser. Un método obvio: dotar al blanco potencial de una superficie altamente reflectante, para así absorber sólo una fracción muy pequeña de la luz. También: recubrir el misil de un revestimiento ablativo, que se quemaría y arrastraría lejos la energía de la radiación láser. Una capa de fluido secretada desde el extremo de la cabeza produciría el mismo efecto. Otra estratagema: que el misil gire alrededor de su eje.

ficiente para enfrentarse a más de un misil atacante. En el mismo intervalo, un cañón de tiro rápido podría disparar varios proyectiles explosivos contra el blanco.

Aun cuando la luz láser viaja casi un millón de veces más deprisa que un proyectil ordinario, el arma láser no gozaría de ninguna ventaja operacional intrínseca sobre un cañón de tiro rápido para la protección contra misiles a corta distancia. Tiene el láser, por contra, varias desventajas. Un misil atacante puede ir protegido contra la luz láser (particularmente de un haz luminoso continuo de baja intensidad) mediante una fina película de alguna sustancia que se excrete continuamente en la punta del misil, para absorber la energía del haz luminoso y disipar el calor. El misil podría también girar de suerte que dispersara el calor por toda su superficie. Por último, hasta para una distancia al objetivo del orden de un kilómetro el mal tiempo puede neutralizar completamente un arma láser.

Como postrera consideración pensemos que el proceso de detección y seguimiento de un objetivo exige más de un láser que de otra arma defensiva, ya que el haz debe incidir realmente sobre el objetivo para que resulte eficaz. La exactitud convencional del sistema de seguimiento de un cañón que dispara proyectiles explosivos es mucho menos exigente, en particular si el proyectil lleva un rastreador de infrarrojos que le capacite para autodirigirse sobre el objetivo.

De la comparación se desprende que las armás láser que operan en la atmósfera no ofrecen claras ventajas sobre las ya existentes para la defensa a corta distancia. Puede bloquear su acción el mal tiempo, no operan con eficacia más allá del alcance de unos pocos kilómetros, se neutralizan por las contramedidas con mayor facilidad que los proyectiles ordinarios o misiles supersónicos y requieren un sistema de seguimiento mucho mejor. En esas condiciones, cuesta imaginar que el desarrollo y el despliegue de armas tan frágiles, complejas y caras fortalecerían la potencia militar de una nación.

Pero sería falso deducir de lo expuesto que la investigación sobre los láseres de alta energía carezca de sentido. Que no se les vea un futuro prometedor en el campo de batalla, no empece que posean aplicaciones útiles en la industria, particularmente en ingeniería química y en sistemas energéticos basados en la fusión nuclear. Por estas razones, y no por aplicaciones militares quiméricas, los Estados Unidos harían bien en continuar ahondando en muchos aspectos de la tecnología de los láseres de alta energía.

JUEGOS CIENTIFICOS PARA LOS MAS JOVENES



«No hay juego más divertido que el que utiliza la naturaleza, porque para jugar con ella basta con tener un poco de fantasía y cierta curiosidad por experimentar». Este fragmento del prólogo de Alberto Méndez define lo que constituye el objetivo de esta obra: ayudar a desarrollar en los más jóvenes, a partir de los 10 años, el gusto y la afición por la experimentación científica. A través de ella aprenderán, de una forma viva y sorprendente, una serie de principios básicos de la ciencia.

INDICE DE EXPERIMENTOS

Estalactitas y estalagmitas
Cómo cambiar el color de las flores
Cristales de azúcar
Cristales de sal
Cristales gigantes
Agua trepadora
Un barco de propulsión a vapor
Líquidos de colores
La fuerza centrífuga
Arquitectura de las hojas
Cómo poner un huevo de pie
Las plantas respiran
La piel invisible del agua
Un barómetro
Tintas invisibles
La aguja flotante
La gran fuerza del aire
El secreto de las hojas
Siluetas sobre las hojas
Fuegos de Bengala
Un electroimán casero
Las raíces buscan la tierra
El agua se dilata
La fuerza de las plantas
Las bolas saltarinas
El huevo flotador
Plantas de semillas
Agua que cambia de color
Cómo conseguir un arco iris
Llamas de colores
El papel incandescente
Construye un periscopio
Alimentos con almidón
El vaso boca abajo
Pruebas de electricidad estática
Cómo hacer una nevada
Espejos grotescos
El lenguaje de los árboles
Cómo hacer un herbario

Un volumen económico, en formato de bolsillo, con 44 ilustraciones, muchas de ellas múltiples o secuenciales. LABOR BOLSILLO JUVENIL, n.º 15.

labor
bolsillo juvenil



Bibliografía

Los lectores interesados en una mayor profundización de los temas expuestos pueden consultar los trabajos siguientes:

ARMAS LASER

Response of Materials to Laser Radiation: A Short Course. J. T. Schriempf. Naval Research Laboratories, 1974.

High Energy Laser Weapons: A Technical Assessment. M. Callaham y K. Tsipis. Program in Science and Technology for International Security Report No. 6.

NAVEGACION MAGNETICA EN LAS BACTERIAS

A Novel Method for the Isolation and Study of a Magnetotactic Bacterium. T. T. Moench y W. A. Konetzka en *Archives of Microbiology*, vol. 119, págs. 203-212; 1978.

Magnetite in Freshwater Magnetotactic Bacteria. Richard B. Frankel, Richard P. Blakemore y Ralph S. Wolfe en *Science*, vol. 203, n.º 4387, págs. 1355-1356; 30 de noviembre de 1979.

Ultrastructure of a Magnetotactic Spirillum. D. L. Balkwill, D. Maratea y R. P. Blakemore en *Journal of Bacteriology*, vol. 141, n.º 3, págs. 1399-1408; marzo, 1980.

South-seeking Magnetotactic Bacteria in the Southern Hemisphere. R. P. Blakemore, R. B. Frankel y Ad. J. Kalmijn en *Nature*, vol. 286, n.º 5771, págs. 384-385; 24 de julio de 1980.

Magnetotactic Bacteria at the Geomagnetic Equator. R. B. Frankel, R. P. Blakemore, F. F. Torres de Araujo, D. M. S. Esquivel y J. Danon en *Science*, vol. 212, n.º 4500, págs. 1269-1270; 12 de junio de 1981.

LIMITACIONES DE LA FIJACION BIOLOGICA DE NITROGENO

Increasing Crop Productivity: the Problem, Strategies, Approach and selected Rate-Limitations related to Photosynthesis. R. W. F. Hardy, U. D. Havelka y B. Quebedeaux en *Proceedings of the Fourth International Congress on Photosynthesis*, págs. 695-735. Editado por D. O. Hall, J. Coombs y T. W. Goodwin. The Biochemical Society, London, Colchester, 1977.

Photosynthesis and Plant Productivity. I. Zelitch en *Chemical and Engineering News*, n.º 57, págs. 28-48; 1979.

Photosyntehsis II. Photosynthetic Carbon Metabolism and Related Processes en *Encyclopedia of Plant Physiology, New Series*, vol. 6. Editado por M. Gibbs y E. Latzko. Springer-Verlag, Berlín, Heidelberg, Nueva York; 1979.

La Fijación Biológica del Nitrógeno. Importancia y Perspectivas. J. Olivares, E. J. Bedmar y J. Casadesús en *Anales de Edafología y Agrobiología*. En prensa.

JUPITER Y SATURNO

Voyager 1 Encounter with Jupiter. *Science*, vol. 204, n.º 4396; 1 de junio de 1979.

Voyager 2 Encounter with Jupiter. *Science*, vol. 206, n.º 4421; 23 de noviembre de 1979.

The New Solar System. Dirigido por J. Kelly Beatty, Brian O'Leary y Andrew Chaikin. Cambridge University Press y Sky Publishing Corporation, 1981.

Voyager 1 Encounter with Saturn. *Science*, vol. 212, n.º 4491; 10 de abril de 1981.

EL OIDO DE LA LECHUZA

Acoustic Location of Prey by Barn Owls (*Tyto alba*). Roger S. Payne en *The Journal of Experimental Biology*, vol. 54, págs. 535-573; 1971.

How the Owl Tracks Its Prey. Masakazu Konishi en *American Scientist*, vol. 61, n.º 4, págs. 414-424; julio-agosto de 1973.

Sound Localization in Birds. E. I. Knudsen en *Comparative Studies of Hearing in Vertebrates*, dirigido por Arthur N. Popper y Richard R. Fay. Springer-Verlag, 1980.

FIBRINOGENO Y FIBRINA

The Amino Acid Sequence of the α-Chain of Human Fibrinogen. R. F. Doolittle, K. W. K. Watt, B. A. Cottrell, D. D. Strong y M. Riley en *Nature*, vol. 280, n.º 5722, págs. 464-468; 9 de agosto de 1979.

Trinodular Structure of Fibrinogen: Confirmation by Both Shadowing and Negative Stain Electron Microscopy. Walter E. Fowler y Harold P. Erickson en *Journal of Molecular Biology*, vol. 134, n.º 2, págs. 241-249; 25 de octubre de 1979.

Studies on Synthetic Peptides That Bind to Fibrinogen and Prevent Fibrin Polymerization: Structural Requirements, Number of Binding Sites, and Species Differences. Andrew P. Laudano y Russell F. Doolittle en *Biochemistry*, vol. 19, n.º 5, págs. 1013-1019; 4 de marzo de 1980.

ALGEBRA POR ORDENADOR

Symbolic Mathematical Computation. David R. Stoutemyer y David Y. Y. Yun en *Encyclopedia of Computer Science and Technology. Vol. 15: Supplement*, dirigido por Jack Belzer, Albert G. Holzman y Allen Kent. Marcel Dekker, 1980.

Proceedings of the 1981 ACM Symposium on Symbolic and Algebraic Computation. Dirigido por Paul S. Wang. Association for Computer Machinery, 1981.

EL PRINCIPIO ANTROPICO

Large Number Coincidences and the anthropic Principle in Cosmology. Brandon Carter en *Confrontation of Cosmological Theories with Observational Data: Proceedings of the Second Copernicus Symposium*, dirigido por M. A. Longair. D. Reidel Publishing Co., 1974.

On What God Chose: Perfection and God's Freedom. George Gale en *Studia Leibnitiana*, tomo 8, n.º 1, págs. 68-87, enero, 1976.

JUEGOS MATEMATICOS

What We Know and Don't Know about Inflation. Robert M. Solow en *Technology Review*, vol. 81, n.º 3, págs. 30-46; diciembre/enero, 1979.

Reaganomics: Supply-Side Economics in Action. Bruce R. Bartlett. Arlington House Publishers, 1980.

TALLER Y LABORATORIO

So What's a Bubble? Jeffrey C. May en *SciQuest*, vol. 52, n.º 8, págs. 16-20; octubre, 1979.

Cloud Physics in a Glass of Beer. Craig F. Bohren y Gail M. Brown en *Weatherwise*, vol. 34, n.º 5, págs. 221-223; octubre, 1981.